

Värmeöverföring i glasfiber

Från en glasfibertank till dess omgivning

Jonas Klemets

Värmeöverföring i glasfiber

Plastteknik

2011

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Plastteknik
Identifikationsnummer:	9039
Författare:	Jonas Klemets
Arbetets namn:	Värmeöverföring i glasfiber
Handledare (Arcada):	Karis Badal Durbo
Uppdragsgivare:	Nordpipe Composite Engineering
<p>Abstrakt:</p> <p>Detta arbete handlar om utvecklandet av ett dataprogram som har i uppgift att snabbt räkna ut en glasfibertanks värmeenergiförlust beroende på tankens uppbyggnad och miljö. Till en början behandlas värmeenergins historia, samt värmeenergi och temperaturer. Därefter behandlas värmeöverföring och på vilket sett värmeöverföring kan ske. Sen presenteras glasfibertanken, vad en glasfibertank är och vilka tillverkningsmetoder som används vid tillverkning av glasfiber tankar. Till slut finns en presentation av programmet och hur programmets kod fungerar.</p>	
Nyckelord:	Värme överföring, konduktion, konvektion, strålning, nordpipe composite engineering, NCE, glasfiber, Visual Basic, Program, Kodning,
Sidantal:	32
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Inledning.....	1
1.1	Syfte	1
1.2	NCE Oy (Nordpipe Composite Engineering).....	2
2	värmens historia	3
3	Värmeenergi och temperatur	4
3.1	Värmeenergi	4
3.2	Temperatur	4
4	Konstanter.....	5
4.1	Emissivitet " ϵ "	5
4.2	Stefan Boltzmann konstant	5
5	Värmeöverföring	7
5.1	Värmeledningsförmåga	7
5.2	Konduktion.....	8
5.3	Konvektion.....	10
5.4	Strålning	12
5.5	Värmeledningsförmåga i glasfiberkomposit	13
6	En Tank i glasfiber	15
7	framställning av en glasfibertankar	16
7.1	Lindning	16
7.2	Handlaminering	18
7.3	Vakuuminjicering	19
8	Programmet	21
8.1	Programmet funktion	21
8.2	Microsoft Visual basic express	24
8.3	Vad programmet räknar ut	24
8.4	Tankens yttemperaturer	24
9	Empiriskt test.....	26
10	Vidareutveckling av programmet	28
11	Sammanfattning	29

Källor	30
Bilagor	31

FIGURER

Figur 1 Kylskåp.....	9
Figur 2 Glasfibertank tillverkad vid NCE Fotograf Ossian Björkskog 2010.....	15
Figur 3 Tillverkningsmetoden lindning Fotograf Jonas Klemets 2011 NCE.....	17
Figur 4 Tillverkning av kupad gavel genom handlaminering. Fotograf Jonas Klemets NCE 2011.....	18
Figur 5 Injicering av ett botten till en tank. Fotograf Jonas Klemets NCE 2011.....	20
Figur 6 Bild på programmet(detaljerad bild finns som bilaga).....	23

TABELLER

Tabell 1 Värmeöverföringsvärden genom konvektion (källa 5)	10
Tabell 2 Värmeledning i glasfiberkomposit (källa 9).....	13

1 INLEDNING

Värmeöverföring är lätt att förstå om man tänker på ett värmeelement som finns i ett egnahemshus som har vattenburen uppvärmning. I elementet finns varmt vatten som cirkulerar, vilket gör att värmet överförs från det varma vattnet till elementet. Värmelement är i vanliga fall tillverkade i metall, på grund av att metall har god värmeledningsförmåga. När elementet är varmt överförs värmet från elementet till dess omgivning. Vid en noggrannare studie av värmeöverföringen kan man konstatera att vattnet har en viss temperatur, metallen har en annan temperatur och rummet en tredje temperatur. Detta betyder att man har flera olika material med olika temperaturer, som leder till att värmeöverföringar sker. [1]

Detta arbete behandlar först tre olika värmeöverföringar, därefter beskrivs programmet, som räknar ut hur mycket värme, som överförs från en tank till omgivningen beroende på tankens temperatur.

1.1 Syfte

Syftet med detta slutarbete är att utveckla ett program som räknar ut hur mycket värme en glasfibertank avger om den har en viss temperatur. En tank, som rymmer 600 kubikmeter, har temperaturen 80 grader Celsius. Denna oisolerade tank finns i en byggnad, öppen för beröring. Med programmets hjälp skall det då vara möjligt att räkna ut med vilken effekt tanken värmer upp byggnaden. Programmet skall också räkna ut vilken yttemperatur tanken har, så att användaren vet ifall det finns risk för brännskador vid beröring av tanken. Ytterligare skall det vara möjligt att tillägga, ett till tre olika isoleringsmaterial, samt bestämma deras tjocklek var för sig. I programmet skall det också gå att bestämma tankens vägg tjocklekar.

1.2 NCE Oy (Nordpipe Composite Engineering)

NCE, Nordpipe Composite Engineering, grundades år 1993 och företaget är verksamt i Jakobstad, Finland. NCE har specialiserat sig på tekniska industriplaster och har ett produktsortiment som består av rör och tankar som är avsedda för speciellt svåra förhållanden med korrosion och högt tryck. När NCE grundades år 1993 hade företaget under tio anställda. Under den första tiden tillverkades mestadels oljetankar och slamtankar. Under mitten 90-talet startade NCE sin produktion av glasfiberrör och rördelar. I slutet på 90-talet minskade försäljningen av slam och oljetankarna på grund av att smältplastindustrin växte och dessa tankar kunde göras i smältplast. Vid det skedet hade antalet anställda ökat till över 30 personer och sedan 2004 har företaget NCE vuxit med över hundra procent per år. År 2008 var NCE ett av de största företagen i Norden på att tillverka tankar, reaktorer, skorstenar, rökgasreningsapparaturer av glasfiberkomposit. Tillverkningsmetoder som används vid NCE är handlaminering, lindning, injicering, RTM, Resin Transfer Molding, och lätt-RTM. I dag har NCE ca 65 anställda och utökat sina produktionsutrymmen till över 5000 m². NCE har ett rörsortiment som varierar från 20 mm till 13000 mm i diameter. NCE:s specialitet idag är tillverkning av lindningsprodukter konstruerade för svåra och tryckbelastade förhållanden.

2 VÄRMENS HISTORIA

På 1700 talet fanns det flera olika teorier om vad värme är. En teori säger att värme är massa. I ett föremål med låg värme trodde man att det fanns en liten mängd massa och i ett föremål med hög temperatur en stor mängd massa. Eftersom ingen viktskillnad kunde noteras beroende på temperatur antog man att massan var viktlös. Massan fick namnet kalorik. Den andra teorin, som varit härskande sedan början på 1600-talet, var att värme hade att göra med molekylnas rörelse. Det namn som mest förknippas med teorin om att värme är en form av energi, är den amerikansk-brittiske fysikern och administratören Benjamin Thompson. Thompson var verksam i Bayern i slutet på 1790-talet och lade då märke till den värmeutveckling som ägde rum när man borrade kanonrör i en av de fabriker han övervakade. Thompson kunde inte acceptera teorin om kalorik utan började själv studera värme, friktion och sambandet mellan värme och rörelseenergi. Detta resulterade i bland annat skriften "An Experimental Enquiry Concerning the Source of the Heat which is Excited by Friction", 1798. [2]

Kalorikteorin fortsatte vara dominerande fram till 1840-talet då den brittiske fysikern James Prescott Joule slog fast att det finns olika former av energi: Elektrisk-, mekanisk- och värmeenergi. James Prescott Joule föddes på julafton, år 1818. James skolades i hemmet, som var brukligt på den tiden. I 16-års ålder gick James och hans bror i skolning hos den välkända fysikern och kemisten John Dalton. Under sin skolning hos Dalton blev James intresserad av naturvetenskap och började experimentera på egen hand. Redan som 20-åring publicerade han sin först vetenskapliga rapport. 2 år senare presenterade han sambandet mellan elektrisk energi och värmeenergi, som han kommit fram till genom sina experiment med att värma upp metalltrådar. Efter studier i elektricitet började han studera mekanik. I sin forskning kom han fram till att mekaniskt arbete och värmeenergi har ett samband vilket bevisar att kalorikteorin inte stämmer. Forskningen gjorde James på egen hand, vilket betydde att han aldrig avlönades för sitt arbete.

James Joule dog år 1889. Som erkännande för sitt arbete inom energins, värmelärans, och elektricitets område har han fått SI-enheten för energi uppkallad efter sig. [3]

3 VÄRMEENERGI OCH TEMPERATUR

3.1 Värmeenergi

Värmeenergi är en energi, som flyttas från ett system till ett annat utan att något arbete krävs. Värme kan även ses som den energiöverföring som sker till ett system, men som inte är mekanisk eller elektrisk. Värmeöverföring sker endast från ett system med högre temperatur till ett system med lägre temperatur. För att få värme att transporteras från ett system till ett annat med samma temperatur eller högre kan man använda en mekaniskt driven värmepump, eller genom att rikta ihop värmestrålar, t.ex. solstrålar. Strålar-
na kan riktas med hjälp av speglar eller linser och på så sätt öka flödestätheten på ett område och från det området kan energi transporteras till systemet med mera energi. Värme kan överföras på tre olika sätt, konduktion, konvektion och strålning. [4]

3.2 Temperatur

Temperatur är en fysikalisk storhet på det som vanligtvis uppfattas som värme eller kyla. Idag används tre olika temperaturenheter Kelvin, Celsius och Fahrenheit. Kelvin används i vetenskapliga sammanhang. Kelvinskalans fixpunkt är den absoluta noll punkten. Celsiusskalan är den vanligaste temperaturskalan i Europa. Fixpunkterna för Celsiusskalan är vattnets fryspunkt och vattnets kokpunkt. Den tredje enheten för temperatur är Fahrenheit. Fahrenheitskalan används i allmänhet i USA och Storbritannien. Gabriel Daniel Fahrenheit bestämde sin skala på basen av temperaturen hos en blandning av snö och salmiak, samt temperaturen hos människokroppen. I smältande snö och kokande vatten fick man gradtalen $+32^{\circ}\text{F}$ och 212°F .

4 KONSTANTER

4.1 Emissivitet ” ϵ ”

Emissiviteten anger hur mycket värmeenergi ett material utstrålar. Olika material har olika förmågor att utstråla energi, ett material kan utstråla lika mycket energi som det kan absorbera energi. Emissiviteten för ett material bestäms genom att jämföra materialet med en svartkropp med ideal utstrålningsenergi. En svartkropp har utstrålningsenergi $\epsilon=1$ vid en viss temperatur. [5]

Kvoten mellan ett materials utstrålade energi och utstrålad energi från en svartkropp vid samma temperatur är materialets emissivitet. Emissiviteten för ett material är ett värde mellan 0 och 1. Denna kvot kallas ”Kirchhoffs lag för värmestrålning”. Lagen säger att en ytas spektrala emissivitet är lika med dess spektrala absorptionsfaktor vid varje temperatur och våglängd. Genomskinliga och ljusa material utstrålar mindre energi än mörka material. Gustav Kirchhoff formulerade denna lag år 1859. Lagen grundar sig på ett termodynamiskt resonemang om hur två kroppar kan ha olika strålningsseffekt fast de är av samma temperatur. [6]

Gustav Robert Kirchhoff föddes i Königsberg 12 mars 1824 och dog 1887 den 17:onde oktober i Berlin. Gustav Kirchhoff är också känd för sina elektriska lagar, Kirchhoffs strömlag, samt Kirchhoffs spänningslag. Elektriska kretsteorin grundar sig på Ohms lag, samt Kirchhoffs två ovannämnda lagar. [7]

4.2 Stefan Boltzmann konstant

Stefan Boltzmann konstanten är uppkallad efter Josef Stefan och Ludwig Boltzmann. Lagen anger hur energin E som utstrålas från en svartkropp, beror på den absoluta temperaturen T . Josef Stefans empiriska test bevisade att energin var proportionell mot fjärde potensen av temperaturen, vilket Ludwig Boltzmann kunde visa teoretiskt 1884. Lagen kallas nu för Stefan Boltzmann lag:

$$E = \sigma * T^4$$

$$\sigma = \frac{2\pi^5 * K^4}{15 * h^3 * c^2}$$

K är Boltzmann konstanten, h är Plancks konstant och c är ljusets hastighet. Konstanten σ kallas Stefan-Boltzmann konstant och dess värde är: $5,6705 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$.
[8]

5 VÄRMEÖVERFÖRING

5.1 Värmeledningsförmåga

I formlerna som används i detta kapitel antas materia vara i fast tillstånd och ha värmeflödet i endast en riktning. Värmeledningsförmågan anger hur bra ett ämne kan leda värme, enheten för värmeledningsförmågan är $\text{W/m}\times\text{K}$. Varje material har en egen värmeledningsförmåga. Ett materials värmeledningsförmåga går att räkna ut med hjälp av Weidemann-Franz lag. Lagen betyder i fysiken att sambandet mellan värmeledningsförmågan K och elektriska ledningsförmågan σ är proportionellt mot en absolut temperatur T .

$$\frac{K}{\sigma} = L * \quad (1.1)$$

L är här proportionalitetskonstanten också kallad Lorenz-talet. [5]

Med hjälp av denna formel får man reda på ett materials värmeledningsförmåga. Värmeflödet i ett material kan man räkna ut med hjälp av värmeledningsförmågan K , Värmeflödet fås med hjälp av Fouriers lag. [5]

$$J = K * \frac{S*\Delta T}{L} \quad (1.2)$$

J är värmeflödet, alltså mängden värmeenergi som passerar, på en tidsenhet, genom ett ämne, proportionellt mot tvärsnittsarean S och mot temperaturskillnaden mellan den kalla och den varma sidan ΔT och omvänt proportionellt mot materialets längd L .

K är alltså materialets värmeledningsförmåga ($\text{W/m}\times\text{K}$). L är materialets tjocklek, alltså längden från den kalla sidan till den varma. ΔT är temperaturskillnaden mellan den kalla och den varma ytan. [5]

5.2 Konduktion

Konduktion sker i ett materialskikt med högre temperatur på ena sidan och lägre på den andra. Lättast sättet att förklara detta är att gå in på molekylnivå. På den sidan som materialet har högre temperatur är molekylerna i mera rörelse, vilket betyder att de har mera energi. På grund av detta kolliderar de med molekylerna som har mindre rörelse vilket gör att energin överförs vidare till den kallare sidan och den kalla sidan blir varmare. Värmeledning, i en riktning, räknas med hjälp av Fouriers lag.

$$J'' = -K * \frac{dT}{dx} \quad \text{denna formel ger (W/m}^2\text{)} \quad (2.1)$$

J är värmeflödet per enhet area som transporteras från den varma sidan till den kalla i rätvinkel mot temperaturskillnaderna. K är materialets värmeledningsförmåga.

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (2.2)$$

Formeln kan också skrivas:

$$J'' = k \frac{T_1 - T_2}{L} = k \frac{\Delta T}{L} \quad (2.3)$$

Totala värmeflödet som överförs fås med formeln:

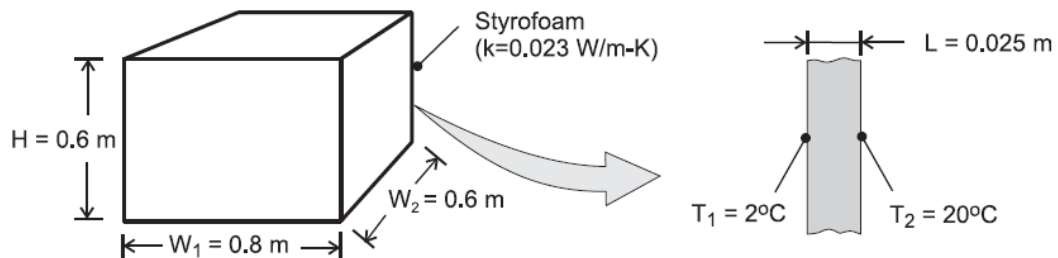
$$J = J'' * A \quad (2.4)$$

Denna beräkning ger nu svaret på det totala värmeflödet som överförs över den givna arean genom konduktion. [5]

EXEMPEL 1:

Detta är ett exempel på hur mycket värmeenergi transporteras från ett kylskåp som har temperatur 2 grader Celsius inuti. Kylskåpets omgivna temperatur är 20 grader Celsius.

Kylskåpets väggar är 0,025 meter tjocka. Kylskåpets väggmaterial har en värmeledningskonstant på 0,023 W/m*K. Det antas att inga värmeförluster sker genom kylskåpets botten. Värmeförlusten sker enbart genom väggarna. Formel 2.3 används för att beräkna hur mycket värme som transporteras mellan kylskåpet och omgivningen. [5]



Figur 1: Kylskåp

Innertemperatur (T_1): 2 Grader Celsius

Omgivningstemperatur (T_2): 20 Grader Celsius

Väggarnas värmeledningskonstant (K): 0,023 W/m*K

$$J'' = k \frac{T_1 - T_2}{L} = 0,023 * \frac{20 - 2}{0,025} = \frac{0,023 * 18}{0,025} = 16,56$$

$$J'' = 16,6 \text{ W/m}^2$$

För att få ut det totala värmeflödet som kylskåpet avger måste man räkna enligt formel 2.4.

$$J = J'' * A$$

Den totala arean får man om man räknar

$$H * (2 * W_1 + 2 * W_2) + W_1 * W_2$$

H är höjden, 0,6 meter, W_1 är bredden, 0,8 meter, W_2 är längden, 0,6 meter,

$$J = 16,6 * [0,6 * 2 * 0,8 + 2 * 0,6 + 0,8 * 0,6] = 35,9 \text{ W}$$

Detta är då den totala energin som transporteras genom kylskåpets väggar. [5]

5.3 Konvektion

Konvektion är värmeöverföring från en varm yta till ett annat ämne såsom vätska eller annat medium. Konvektion är uppdelad i två olika typer, den ena typen av konvektion sker med hjälp av molekylernas rörelse (diffusion) och den andra typen sker med hjälp av den makroskopiska rörelsen i vätskan. När man har en yta med en viss temperatur och mot ytan ligger en vätska, då delas vätskan upp i olika skikt. Skiktet som är närmast den varma ytan har ingen rörelse och skikten längre ifrån ytan har en rörelse som beror på vätskans flöde. Skikten som är längre från den varma ytan är de som binder värme. Mängden värme de binder är beroende på vätskans hastighet. Orsaken till de olika skikten är vätskans densitet och dess temperatur. [5]

Värmeöverföring genom konvektion räknas på ett liknande sätt som konduktion. I konvektion används h istället för K .

$$h = \frac{w}{m^2} * K \quad (3.1)$$

Konvektion är enklast att förklara med hjälp av följande exempel. Du har en plåt som är $+4\text{ C}^\circ$ och dess omgivning är 20 C° . På grund av att värmeöverföringen mellan plåten och omgivningen sker genom konvektion behövs inte någon längd i uträkningen.

$$J'' = h * (T_s - T_\infty) \quad (3.2)$$

Denna formel är "Newtons lag för kylning". T_∞ är här föremålets (plåtens) omgivna temperatur. T_s är föremålets (plåtens) yttemperatur. h är då konvektionens värmeöverföringskoefficient som beror på mediet. Typiska värden för värmeöverföringskoefficienter finns i följande tabell. [5]

Tabell 1 Värmeöverföringsvärden genom konvektion (källa 5)

Fri Konvektion	H (W/m ² *K)
Gaser	2-25
Vätskor	50-1000

När man räknar med denna formel så kan svaret också bli minus. Det betyder bara att värme transporteras från omgivningen till ytan i stället för från ytan till omgivningen. [5]

EXEMPEL 2:

Exemplet förklarar hur man räknar ut ytemperaturen på insidan och utsidan av en glasruta på en bil beroende på utsidans och insidans temperaturer, samt värmeflödet genom rutan. Värden man redan vet är insidans och utsidans temperatur, konvektions värden för luften mot glasrutan och glasets K värde.

Insidans temperatur: $T_{\infty \text{ in}} = 40^{\circ}\text{C}$

Utsidans temperatur: $T_{\infty \text{ out}} = -10^{\circ}\text{C}$

Konvektion insidan: $h_{\text{in}} = 30\text{W/m}^2\cdot\text{K}$

Konvektion utsidan: $h_{\text{out}} = 65\text{W/m}^2\cdot\text{K}$

Tjockleken på glaset: $L = 0,004\text{m}$

Glasets värmeledningsförmåga: $K = 1,4\text{W/m}\cdot\text{K}$

I detta exempel antas temperaturerna och värmeflödet vara konstant, värmen transporteras i en riktning, och värmestrålningen är obetydlig.

Värmeflödet per ytenhet J'' fås genom följande formel:

$$J'' = \frac{T_{\infty \text{ in}} - T_{\infty \text{ out}}}{\frac{1}{h_{\text{out}}} + \frac{L}{K} + \frac{1}{h_{\text{in}}}} = \frac{313 \text{ K} - 263 \text{ K}}{\frac{1}{\frac{65 \text{ W}}{\text{m}^2} \cdot \text{K}} + \frac{0,004\text{m}}{\frac{1,4\text{W}}{\text{m}} \cdot \text{K}} + \frac{1}{\frac{30\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \text{K}}}$$

$$J'' = \frac{50 \text{ K}}{0,0154 + 0,0029 + 0,0333 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}}} = \frac{969\text{W}}{\text{m}^2}$$

Eftersom värmeflödet är $J'' = h_{\text{in}} \cdot (T_{\infty \text{ in}} - T_{\infty \text{ out}})$ är inner ytemperaturen

$$T_{\text{surf in}} = T_{\infty \text{ in}} - \frac{J''}{h_{\text{in}}} = 313 \text{ K} - \frac{\frac{969 \text{ W}}{\text{m}^2}}{\frac{30 \text{ W}}{\text{m}^2} * \text{K}} = 280,7 \text{ K} = \sim 7,7^\circ\text{C}$$

$T_{\text{surf in}}$: Yttemperaturen på insidan av glaset = $7,7^\circ\text{C}$

På ett liknande sätt räknar man ut yttemperaturen på utsidan

$$J'' = h_{\text{out}} * (T_{\text{surf out}} - T_{\infty \text{ out}})$$

$$T_{\text{surf out}} = T_{\infty \text{ out}} + \frac{J''}{h_{\text{out}}} = 263 \text{ K} + \frac{\frac{969 \text{ W}}{\text{m}^2}}{\frac{65 \text{ W}}{\text{m}^2} * \text{K}} = 277,9 \text{ K} = \sim 4,9^\circ\text{C}$$

$T_{\text{surf out}}$: Yttemperaturen på utsidan av glaset = $4,9^\circ$. [5]

5.4 Strålning

I "Fundamentals of heat and mass transfer", som är en bok skriven av Incropera, Dewitt, Bergman och Lavine, finns värmestrålningen beskriven på ett bra sätt. Värmestrålning sker från materia, som har en högre temperatur än dess omgivning, genom ändring i elektronernas konfigurering i atomerna eller molekylerna. Energin som strålas ut från materia transporteras med hjälp av elektromagnetiska vågor. Till skillnaden från konduktion och konvektion som behöver en materia för att överföra värme, behöver inte strålning. Värmestrålning fungerar bäst i vakuum. Strålning av värmeenergi räknas med formeln:

$$J = J_{\text{rad}} = \varepsilon A \sigma (T_s^4 - T_{\text{sur}}^4) \quad (4.1)$$

Alltid då det sker strålning sker också konvektion, i normala förhållanden. Därför räknas konvektion plus strålning enligt följande formel:

$$J = J_{\text{conv.}} + J_{\text{rad}} = hA (T_s - T_{\infty}) + \varepsilon A \sigma (T_s^4 - T_{\text{sur}}^4) \quad (4.2)$$

J_{konv} förklarades i föregående stycke därför förklaras till följande endast J_{rad} .

$$J_{rad} = \varepsilon * A * \sigma * (T_s^4 - T_{sur}^4) \quad (4.3)$$

A är ytan från vilken värme strålas. T_{sur} är omgivningens temperatur och T_s är materialets ytemperatur i kelvin. σ är *Stefan Boltzmann konstant* ($\sigma=5,67*10^{-8}W/m^2*K^4$) och ε är materialets strålningsvärme, emissivitet, som beror på många olika faktorer, så som materialets färg, ojämnheter i ytan osv. ε är ett tal mellan 0 och 1. [5]

5.5 Värmeledningsförmåga i glasfiberkomposit

En glasfiberkomposit kan vara uppbyggd av flera olika material men den vanligaste typen är uppbyggd av glasfibrer och en matris som binder ihop fibrerna. Glas i sig självt har en värmeledningsförmåga och matrisen har en annan. Ett laminat kan då ha mera fibrer i en riktning och mindre i en annan det betyder att värmen transporteras mera i eller mindre i den riktningen fibrerna är beroende på fibrernas ledningsförmåga jämfört med matrisens. I vanliga laminat används också huggen matta som är uppbyggd av korta fibrer som kan ligga i vilken riktning som helst. Det betyder att ett laminat uppbyggt av den huggna mattan inte leder på samma sätt värme som ett laminat uppbyggt av längre fibrer. I programmet räknas värmeöverföringen skilt beroende på vilken typ av laminat som används.

Nedan finns en tabell på värmeledningsförmågan hos de vanligaste fibrerna som används i kompositer. I tabellen har matriser av polyester eller epoxi använts.

Tabell 2 Värmeledning i glasfiberkomposit (källa 9)

Material	Tillstånd	Värmeledning (W/mK)	Specifik värme (kJ/kgK)
E-glas	Parallella	0,60 – 0,70	1,0 – 1,4
	Fiber	0,20 – 0,30	1,0 – 1,4
	Matta	0,15 – 0,25	1,0 – 1,4
Kolfiber	Parallella		1,1 – 1,2

	Fiberriktning	10 – 15	
	Tvårriktning	1 – 5	
Kevlar	Parallella		1,3 – 1,4
	Fiberriktning	1,5 – 2,0	
	Tvårriktning	0,15 – 0,25	

Enligt tabellen har kolfibrer den bästa ledningsförmågan jämfört med de andra fibrerna. Detta gör att den är bäst att använda om man vill leda bort värmen från något ställe eller sprida en punktvärme.

6 EN TANK I GLASFIBER

En tank i glasfiber kan ha olika utföranden. Den tank som här förklaras är en rund tank som har ett platt botten och ett kupat gaveltak. Tanken är tillverkad helt i glasfiber armerad komposit. En vanlig tank i denna storlek tillverkas i sektioner som senare monteras ihop med varandra. Tillverkningen av manteln (röret som utgör tankens väggar) tillverkas oftast med lindningsmetoden. Takgaveln och botten tillverkas ofta i form av injicering. Injiceringsmetoden håller hela tiden på att ta över handläggningsmetoden eftersom injiceringsmetoden ger en bättre slutprodukt. Efter att dessa delar är tillverkade monteras tanken ihop och kan lamineras ihop i form av handläggning, injicering eller lindning. Lamineringsmetoden handläggning används oftast när anslutningsflänsar monteras på tanken.



Figur 2 Glasfibertank tillverkad vid NCE. Fotograf Ossian Björkskog 2010

7 FRAMSTÄLLNING AV EN GLASFIBERTANKAR

Glasfiberkomposit är engångsplast armerad med glasfibrer. Som engångsplast kan användas olika typer av vinylestrar, polyestrar eller epoxi beroende på slutprodukten användningsområde, engångsplasten kallas i vanliga fall harts. Glasfibrerna blöts med harts som stelnar och tillsammans blir ett högkvalitativt material. Den stelnade kompositen kan ha en hög mekanisk hållbarhet samt en utomordentlig korrosions- och värmetålighet. Som armering används olika typer av fibrer så som glas-, kol- och naturfibrer.

7.1 Lindning

Lindning är ett sätt att tillverka glasfiber rör och tankar. När man tillverkar ett glasfiber rör av mindre dimensioner används ofta formar utav aluminium. Rör som tillverkas har en standard längd på sex meter, det betyder att aluminiumformen som röret tillverkas på behöver vara lite längre. Formen behöver vara längre eftersom den fästs i båda ändarna med lagrade lås så att formen kan snurra med hjälp av en drivande elmotor. När formen är fastspänd i maskinen börjar man med att vaxa formen för att få en slät och fin yta. Efter att formen är vaxad, viras en tunn engångsplastfilm runt formen som fungerar som släppfilm. Ett glasfiber rör är uppbyggt i olika skikt, som heter spärrskikt och stödsikt. Eftersom det tillverkas på en innerform börjar man att tillverka det som kommer att finnas inuti röret där det i vanliga fall behövs ett bra korrosionsskikt.

På formen appliceras först harts, därefter appliceras en kemisk resistent ytmatta tillverkad av C-glas. Det första lagret har en harts procent på ca 80%. Den rika harts mängden beror på att harts är mycket mera resistent mot korrosion än vad glaset är. Efter att ytmattan är applicerad, appliceras 900g/m^2 huggen glasfibermatta. Här används ofta en huggen matta som har en vikt på 300g/m^2 , eftersom den är lättare att få fri från luftbubblor, på grund av dess tjocklek. Spärrskikt är namnet på detta lager. Efter spärrskiktet har applicerats låter man hartsen stelna på formen. Under tiden den stelnar måste formen snurra för att hålla ett jämnt lager av den flytande hartsen. Spärrskiktet tillverkas i vanliga fall med handläggning på den runda formen. När spärrskiktet stelnat börjar det så kallade lindningsskedet.

Lindningen sker med glasfibertrådar som är ihopvirade till ett garn av många fibrer. Vid lindning av rör används ca 40st glasfibertrådar. Glasfibertrådarna går först genom ett badkar som är fyllt med harts efter badkaret lindas trådarna runt den snurrande formen. Dessa 40 trådar drivs av en maskin, fram och tillbaka från ena ändan till den andra för att linda upp de hartsrika trådarna på den snurrande formen. Trådar ger en bra hållfastighet i den riktning trådarna är riktade. För att öka hållfastigheten på rören i den axiella riktningen, appliceras en matta, som har fibrer endast riktade i den axiella riktningen, mellan lindningsvarven. Beroende på vilken vinkel lindningstrådarna lindas på formen, appliceras den uträknade mängden axiella fibrer för att nå den bästa hållfastigheten i båda riktningarna. Detta lager kallas stödsikt. På detta sätt tillverkas rör och mantlar när de tillverkas i en lindningsmaskin. Lindning går också att utföra med vertikal lindningsmaskin. Då är formen i så kallad stående position, tillverkningsprocessen sker på samma sätt. Tillverkningsmetoden, lindning, är bra på grund av att man alltid har långa fibrer plus att man kan bromsa trådarna vilket gör att fibrerna spänns hårdare mot formen vilket i sin tur ger en högre fiberprocenthalt i stödsiktet. Hög fiberhalt försöker man alltid nå i stödsiktet, för att få ett så kraftigt stödsikt som möjligt. Den höga fiberhalten betyder en mindre harts mängd, vilket man vill nå för att hartsen är svagare och dyrare än fibrerna.



Figur 3 Tillverkningsmetoden lindning. Fotograf Jonas Klemets NCE 2011

7.2 Handlaminering

Handlaminering heter metoden då man för hand applicerar fibermattor i flera lager som blir ett laminat. Denna metod är den lättaste och äldsta metoden att använda när man laminerar. Med denna metod appliceras allt material för hand. Handlaminering kan användas när man tillverkar en kupad gavel som kan fungera som ett tak till en cistern. Först poleras och vaxas formen från orenheter så att en så slät yta som möjligt uppnås på den sidan som behöver vara korrosionsbeständig. När formen är vaxad appliceras spärrskiktet på samma sätt som i lindningsmetoden. När spärrskiktet har stelnat ruggas den överst ytan upp med sandpapper för att nå en bra sammanfogning mellan spärrskiktet och stödsiktet. Efteråt applicerar man med rulle harts på den uppruggade ytan. På den blöta hartsen läggs en huggen glasfibermatta, som då blöts med harts igen, så upprepas metoden tills man nått önskad tjocklek. Mellan lagren rullas det med en vals över laminatet för att få bort luft ur det blöta laminatet. Dessa lager kan ha riktade fibrer för att nå den hållfastighet som önskas. Nackdelar med denna metod är att man har en fiber procent på 40 % och harts procent på 60 %, vilket ger en dålig hållfasthet, jämfört med lindning och vakuuminjicering. Fördelar med metoden är att inga maskiner behövs, samt att metoden är lätt att utföra.



Figur 4 Tillverkning av kupad gavel genom handlaminering. Fotograf Jonas Klemets NCE 2011

7.3 Vakuuminjicering

Vakuuminjicering är en av de nyare metoderna inom laminering. När man tillverkar en glasfibertank med injiceringsmetoden så börjar man att tillverka spärrskiktet förhand. Spärrskiktet gör man i detta fall lika som i de ovannämnda metoderna. Efter att spärrskiktet har stelnat på formen, appliceras torra fibrer i den riktning som hållfasthetsberäkningarna förevisar. Efter att den rätta mängden fibrer har applicerats placeras ett tyg över fibrerna, efter tyget placeras ett flödesnät. Ovanför hela laminatet placeras senare en plastfilm som limmas fast i vakuumtäta formen. Tyget som placeras på fibrerna har i uppgift att skilja flödesnätet och laminatet ifrån varandra. Flödesnätet är ett styvt nät som har som uppgift att transportera luft bort från laminatet och tillåta hartsen att fylla det tomma utrymmet i laminatet. Efter att plasten, som har placerats på fibrerna, är slutten, suger man ut luften ur fibrerna. När ett vakuumtillstånd har nåtts i laminatet släpps harts in i laminatet med hjälp av en slang från ett ämbar. Efter att hela laminatet är fyllt med harts stänger man hartstillförseln till laminatet, men håller fortfarande laminatet i ett vakuumtillstånd för att få bort den övriga luften och hartsen ur laminatet. Laminatet hålls vakuumtätt tills hartsen stelnat.

Denna metod är väldigt bra att använda eftersom den ger en jämn kvalitet på slutprodukten. I vanliga fabriksförhållanden kan man komma upp till en fiberprocent på 60 % och en hartsprocent på 40 %, vilket är ett mycket bättre resultat än vad laminering med handläggningsmetoden ger. Denna metod är också bra att använd på grund av att de som arbetar med lamineringen inte utsätts för öppna laminat och styrenångor, som vid handlaminering och lindning. Andra fördelar med injiceringsmetoden är att materialsläseriet minskar betydligt, jämfört med de andra metoderna. Denna metod är också bra att använda när man har komplexa delar som är svåra att tillverka med andra metoder.



Figur 5 Injicering av ett botten till en tank. Fotograf Jonas Klemets NCE 2011

8 PROGRAMMET

Programmet är ett program som har i uppgift att räkna ut värmeöverföringen från en tanks innehåll till dess omgivning. Programmet är i först hand till för att räkna värmeöverföring för glasfibertankar, men dess funktion är också överförbar på tankar av andra material. I programmet går det också att isolera tanken med tre olika material som kan ha olika tjocklekar. Denna information har man till nytta när man vill veta hur mycket värmeenergi går i förlust om man lämnar bort isolering av tanken, eller för att se hur mycket man måste isolera tanken för att sänka utsidans temperatur så att det inte finns risk för brännskador vid beröring.

8.1 Programmet funktion

I programmet som gjorts börjar användaren att fylla i tjockleken på det kemiska skiktet, efter det kemiska skiktet fyller användaren i hur tjockt stödsiktet är. Tjockleken här är då längden som värmen transporteras. När materialets tjocklekar är ifyllda, fyller användaren i materialens K-värde ifall de är annat än vad som programmet har angivit för det kemiska skiktet och stödsiktet. Efter att denna information är ifylld fyller användaren i omgivningens temperatur och temperaturen på innehållet i tanken samt konvektionskoefficienten för både utsidan och insidan. Efter att denna information är ifylld är det möjligt att för användaren att trycka på Calculate knappen. När användaren trycker på knappen, räknar programmet först ut temperaturdifferensen mellan insidan och utsidan som kallas ΔT , ”temperature difference” i programmet.

$$\Delta T = T1 - T2 \quad (8.1)$$

Efter att programmet har temperaturdifferensen, räknar det ut värmeflödet per kvadratmeter, W/m^2 . Sedan räknar programmet ut det totala värmeflödet enligt formel 8.2.

$$J = \frac{\Delta T}{\frac{1}{h_{\text{utsidan}}} + \frac{L}{K_{\text{för inre kemiska skiktet}}} + \frac{L}{K_{\text{för stödsiktet}}} + \frac{1}{h_{\text{insidan}}}} \quad (8.2)$$

Efter att programmet har detta resultat räknar programmet ut utsidans ytemperatur. Ytemperaturen fås med hjälp av formel 8.3.

$$Ytemperaturen = utsidans temperatur + \frac{J}{h_{\text{på utsidan}}} \quad (8.3)$$

Efter att programmet räknat ytemperaturen räknar det ut insidans ytemperatur enligt följande formel.

$$Ytemperaturen = insidans temperatur - \frac{J}{h_{\text{på insidan}}} \quad (8.4)$$

Eftersom programmet är gjort så att det finns möjlighet att isolera tanken betyder det att programmet adderar längden av ett material dividerat med materialets konduktion i den tidigare formeln där programmet räknade ut det totala värme flödet J, i formel 8.2.

När man aktiverar det första tilläggsisoleringsmaterialet räknar programmet enligt formel 8.2 men adderar längden av materialet dividerat med dess K-värde. När isoleringsmaterialen aktiveras adderas en längd dividerat med längdens värmeledningsförmåga. Ifall alla tre är aktiverade räknas värme flödet enligt följande formel.

$$J'' = \frac{\Delta T}{\frac{1}{h_{\text{utsid.}}} + \frac{L}{K} + \frac{L}{K} + \frac{L}{K_{\text{för isol.}}} + \frac{L}{K_{\text{för isol.}}} + \frac{L}{K_{\text{för isol.}}} + \frac{1}{h_{\text{insidan}}}} \quad (8.5)$$

Resultatet är det totala värmeflödet genom konduktion och konvektion från tanken, utsidan och insidans yttemperaturer och temperatur differensen mellan omgivningen och mediets temperatur.

I programmet finns också en annan calculate knapp. Med hjälp av denna knapp räknas den värmeenergi som transporteras från tanken genom strålning ut med hjälp av de värden som man fick från den tidigare beräkningen som programmet gjorde när man tryckte på den förstnämnda calculate knappen.

För att göra det möjligt att räkna ut materialets strålningsenergi måste man fylla i emissivitetskonstanten på det material tanken har på utsidan. Det som man också behöver fylla i är yttre arean på tanken som kan stråla värme. Värmeförlusten genom strålning får man då om man räknar enligt formel 4.3. För att då få den totala värmeförlusten från hela tanken räknar programmet den tidigare konvektionen adderat med strålningen enligt formel 4.2. I figur 5 finns en bild av programmets användargränssnitt.

Tank material measurements

Chemical layer thickness	<input type="text" value="2.5"/> mm	Conduction heat transfer coefficient	<input type="text" value="0.2"/> W/m²K
Support layer thickness	<input type="text" value="5"/> mm	Conduction heat transfer coefficient	<input type="text" value="0.25"/> W/m²K
1. <input checked="" type="checkbox"/> Alternative isolation thickness	<input type="text" value="5"/> mm	Conduction heat transfer coefficient	<input type="text" value="0.25"/> W/m²K
2. <input checked="" type="checkbox"/> Alternative isolation thickness	<input type="text" value="5"/> mm	Conduction heat transfer coefficient	<input type="text" value="0.25"/> W/m²K
3. <input checked="" type="checkbox"/> Alternative isolation thickness	<input type="text" value="5"/> mm	Conduction heat transfer coefficient	<input type="text" value="0.25"/> W/m²K

Temperatures Heat transfer free convection

Inside temperature	<input type="text" value="80"/> Degree Celcius	Convection heat transfer coefficient	<input type="text" value="70"/> W/m²K
Outside temperature	<input type="text" value="18"/> Degree Celcius	Convection heat transfer coefficient	<input type="text" value="20"/> W/m²K

Temperature Difference Degree Celcius

Outside surface temperature Degree Celcius Heat loss W/m²

Inside surface temperature Degree Celcius

Convection + Radiation

Emissivity <1

External Area m²

Total heat loss W

Figur 5 Bild på programmet(detaljerad bild finns som bilaga).

8.2 Microsoft Visual basic express

Microsoft Visual basic är ett programmeringsprogram från Microsoft som underlättar tillverkning av egna dataprogram. Visual basic express är ett program som tillåter programmeraren att bygga upp ett program med färdigt uppbyggda funktioner som går enkelt att plocka in och efteråt programmera och bestämma dess uppgift i programmet. Programmet Visual Basic Express går idag att ladda ner gratis från Microsofts hemsida. Programmet som beskrivs i detta slutarbete är kodat med hjälp av Visual basic express.

8.3 Vad programmet räknar ut

Programmet har som uppgift att räkna ut den totala värmeförlusten per enhet och tankens ytemperatur på både insidan och utsidan, samt den totala värmeförlusten för hela tanken genom konvektion och strålning. När man vet hur stor värmeförlust tanken har inuti en byggnad, vet man t.ex. hur mycket man kan räkna bort från byggnadens uppvärmning kostnader. I ett annat fall kanske användaren vill hålla energin inne i tanken och inte låta den transporteras ut i form av värme.

8.4 Tankens ytemperaturer

Tankens ytemperatur på utsidan kan beräknas när man känner till den totala värmeeenergin som transporteras från tankens insida till utsidan, tankens omgivnings temperatur, samt värmeöverföringskoefficienten från tankens utsida till luften runt tanken. Med dessa värden räknas då ytemperaturen ut enligt den uppställda formeln.

$$\text{tankens omgivnings temperatur} + \frac{\text{totala värmeförlusten}}{\text{utsidans värmeöverförings koefficient}} = \text{ytemperaturen}$$

$$K + \frac{\frac{W}{m^2}}{\frac{W}{m^2} * K} = K$$

Resultatet blir här utsidans ytemperatur i Kelvin.

För att få ytemperaturen på tankens insida behöver man känna till den totala värmee-
nergi som transporteras från tankens insida till utsida, mediets temperatur på insidan,
samt värmeöverföringskoefficienten från tankens insida till mediet. Enligt följande for-
mel räknar man ut ytemperaturen på insidan.

Ytemperaturen på insidan =

mediets temperatur – $\frac{\text{totala värme förlusten}}{\text{insidans värmeöverförings koefficient}}$

$$= K - \frac{\frac{W}{m^2}}{\frac{W}{m^2} * K} = K$$

Denna formel ger ytemperaturen på tankens insida.

9 EMPIRISKT TEST

I detta kapitel beskrivs ett empiriskt test som gjordes i samband med slutarbetet för att testa programmets funktion. NCE har tillverkat kemiska reaktorer till Boliden Chemicals i Karleby. Reaktorerna har en rund form med kupad gavel botten och ett koniskt tak. Huvudmått på reaktorerna är 8 meter i diameter och 9 meter hög. Reaktorerna är tillverkade helt i glasfiber. Större areor på reaktorn har isolerats med 20mm PE skumplast för att få ned den externa värmestrålningen från reaktorn. Vätskan som finns inuti reaktorerna har en temperatur på 101C° . Reaktorerna är placerade inuti en byggnad, reaktorernas omgivningstemperatur kunde mätas till 30C° .

Reaktorernas spärrskikt består av en ytmatta på 30 g/m^2 efter ytmattan 2400 g/m^2 hackad glasfibermatta, spärrskiktet har en tjocklek på 6mm. Stödsiktet tjocklek på reaktorerna är 12mm lindat laminat, utanpå det lindade laminatet finns 20mm skumplast som isoleringsmaterial. På skumplasten har lindats ytterligare 3mm glasfiber laminat för att skydda isoleringsmaterialet.

För att få en så exakt ytemperatur på utsidan som möjligt gjordes mätningar på flera olika ställen utanför reaktorerna, medelvärde för ytemperaturen på utsidan var $42,8\text{C}^\circ$ med den tidigare nämnda uppbyggnaden.

Värmeledningvärden som programmet räknar med är $0,2\text{ W/m}^*\text{K}$ för spärrskiktet $0,25\text{W/m}^*\text{K}$ för stödsiktet och $0,070\text{W/m}^*\text{K}$ för skumplasten som ges av dess tillverkare, $0,2\text{W/m}^*\text{K}$ för det yttersta lagret glasfiber.

För att få programmet mera kalibrerat för glasfiber gjordes ytemperatur mätningar även på ställen där stödsiktets tjocklek var 11mm samt 30mm utan isolering.

Uppmätta ytemperaturer på dessa tjocklekar är 56C° på den tunnare material tjockleken och 49C° på den tjockare. När man matar in dessa tjocklekar i programmet och har programmet att räkna ytemperaturerna, ger programmet ut att ytemperaturen på det tjockare området borde vara 47C° , på det tunnare $56,5\text{C}^\circ$.

Programmet räknar med värmeledningsförmågan $0,2\text{ W/m}^*\text{K}$ för spärrskiktet, i stödsiktet är ledningsförmågan $0,25\text{W/m}^*\text{K}$. Konvektionskoefficient på insidan antas vara $1500\text{ W/m}^2*\text{K}$ och på utsidan $20\text{ W/m}^2*\text{K}$. Här ställs nu upp en beräkning enligt formel [8.2] med samma värden som använts av programmet.

$$J'' = \frac{71}{\frac{1}{20} + \frac{0,006}{0,2} + \frac{0,011}{0,25} + \frac{1}{1500}}$$

$$= 569,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Detta är värmeenergi förlusten från tanken genom konduktion och konvektion. Efter att man har detta värde kan man räkna ut ytemperaturerna med formel 8.3 och 8.4. Ytemperaturen på utsidan:

$$T_{surf\ out} = 30C^{\circ} + \frac{569,5}{20}$$

$$T_{surf\ out} = 58,47C^{\circ}$$

Ytemperaturen på insidan:

$$T_{surf\ in} = 101C^{\circ} - \frac{569,5}{1500}$$

$$T_{surf\ in} = 100,6\ C^{\circ}$$

Med denna beräkning kan konstateras att programmet fungerar. I denna beräkning antas konvektionskoefficienterna vara de tidigare nämnda, eftersom luftströmmningen i hallbyggnaden där reaktorerna är placerade är så kraftig och ojämn, att en exakt konvektionskoefficient skulle nästan vara omöjlig att räkna ut.

10 VIDAREUTVECKLING AV PROGRAMMET

Det går på flera sätt att vidareutveckla programmet. En sak som kunde göras vore att importera tabeller där användaren kunde välja vilket material tanken tillverkad av. Så att användaren inte själv skulle behöva leta upp materialens emissivitet eller värmeledningsförmåga utan kunde snabbt välja det från en tabell. Om man ännu vill utveckla kunde man programmera in i programmet hur mycket fibrer procentuellt mot bindningssmatrisen laminatet är uppbyggd av, och från det räkna ut materialets värmeledningsförmåga. Man kunde också programmera in så att programmet tar i beaktande hur mycket fibrer går i vilken riktning och på så vis delar upp värmeöverföringen i olika riktningar. Programmet, som det är nu, räknar med ett stillastående media och fri konvektion och värmeflödet i en riktning. Här kunde också programmet programmeras om så att medierna kunde vara i rörelse. Men ju mera man utvecklar programmet, ju svårare blir det att förstå och hantera för användaren. Detta program har som avsikt att vara snabb och lätt använd för användaren.

11 SAMMANFATTNING

Detta dataprogram används i dag vid NCE. Med programmet kan den som planerar tanken räkna ut ett värde på hur mycket värmeenergi tanken kommer att avge beroende på tankens miljö och temperaturer. Denna information gör att kunden kan själv välja vilken yta eller hur tanken skall isoleras för att öka eller minska värmeenergitransporten från eller till tanken.

KÄLLOR

1. Wikipedia.org.
<http://sv.wikipedia.org/wiki/V%C3%A4rmeledningsf%C3%B6rm%C3%A5ga>.
(29.1.2012)
2. <http://alltomvetenskap.se/nar-var-varme-materia.aspx?article=4903&newsbillcategory=69>, 2009. (29.1.2012)
3. <http://www.alltomvetenskap.se/joule--bryggaren-som-blev-forskare.aspx?article=3105&newsbillcategory=176> (29.1.2012)
4. Eklund, Thure, Holmberg, Peter, 2000, *Physica Energi och värme*, 2000, Söderström & C:o.
5. Incropera, Frank P, DeWitt David P, Bergman, Ted, Lavine, Adrienne, 2006, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 6 uppl., Wiley. (s. 3 – 10)
6. Wikipedia.org. http://sv.wikipedia.org/wiki/Kirchhoffs_str%C3%A5lningslag.
(29.1.2012)
7. Wikipedia.org. http://sv.wikipedia.org/wiki/Gustav_Kirchhoff. (29.1.2012)
8. Wikipedia.org. http://en.wikipedia.org/wiki/Boltzmann_constant. (29.1.2012)
9. Saarela, Olli, Airasmaa, Ilkka, Kokko, Juha, Skrifvars, Mikael, Komppa, Veikko, 2007, *Komposiittirakenteet*, Muoviyhdistys.

BILAGOR

1. Programmets kod
2. Bild på programmet, figur 5
3. Visual Basic Express start layup, figur 6
4. Bild på programmet med textboxar I kodnamn.
5. Visual Basic programmets start form, figur 8
6. Detaljerad förklaring av koden.

Bilaga 1.

```
Public Class form1
    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object,
ByVal e As System.EventArgs) Handles Button1.Click
        txtb9.Text = (Val(txtb6.Text) - Val(txtb5.Text))
        txtb10.Text = Format((Val(txtb9.Text)) / ((Val(1 /
txtb7.Text)) + (Val(0.001 * txtb1.Text) / txtb3.Text) +
(Val(0.001 * txtb2.Text) / txtb4.Text) + (Val(1 /
txtb8.Text)))), "0.00")
        txtb11.Text = Format((Val(txtb5.Text + ((txtb10.Text)
/ txtb7.Text))), "0.00")
        txtb12.Text = Format((Val(txtb6.Text - (txtb10.Text)
/ txtb8.Text)), "0.00")
        If cb1.Checked = True Then
            txtb9.Text = (Val(txtb6.Text) - Val(txtb5.Text))
            txtb10.Text = Format((Val(txtb9.Text)) / ((Val(1
/ txtb7.Text)) + (Val(0.001 * txtb1.Text) / txtb3.Text) +
(Val(0.001 * txtb16.Text) / txtb19.Text) + (Val(0.001 *
txtb2.Text) / txtb4.Text) + (Val(1 / txtb8.Text)))), "0.00")
            txtb11.Text = Format((Val(txtb5.Text +
((txtb10.Text) / txtb7.Text))), "0.00")
            txtb12.Text = Format((Val(txtb6.Text -
(txtb10.Text) / txtb8.Text)), "0.00")
        End If
        If cb2.Checked = True Then
            txtb9.Text = Val(txtb6.Text) - Val(txtb5.Text)
            txtb10.Text = Format((Val(txtb9.Text)) / ((Val(1
/ txtb7.Text)) + (Val(0.001 * txtb1.Text) / txtb3.Text) +
(Val(0.001 * txtb17.Text) / txtb20.Text) + (Val(0.001 *
txtb2.Text) / txtb4.Text) + (Val(1 / txtb8.Text)))), "0.00")
            txtb11.Text = Format((Val(txtb5.Text +
((txtb10.Text) / txtb7.Text))), "0.00")
            txtb12.Text = Format((Val(txtb6.Text -
(txtb10.Text) / txtb8.Text)), "0.00")
        End If
        If cb3.Checked = True Then
            txtb9.Text = Val(txtb6.Text) - Val(txtb5.Text)
            txtb10.Text = Format((Val(txtb9.Text)) / ((Val(1
/ txtb7.Text)) + (Val(0.001 * txtb1.Text) / txtb3.Text) +
(Val(0.001 * txtb18.Text) / txtb21.Text) + (Val(0.001 *
txtb2.Text) / txtb4.Text) + (Val(1 / txtb8.Text)))), "0.00")
            txtb11.Text = Format((Val(txtb5.Text +
((txtb10.Text) / txtb7.Text))), "0.00")
            txtb12.Text = Format((Val(txtb6.Text -
(txtb10.Text) / txtb8.Text)), "0.00")
        End If
        If cb1.Checked And cb2.Checked = True Then
```

```

        txtb9.Text = Val(txtb6.Text) - Val(txtb5.Text)
        txtb10.Text = Format((Val(txtb9.Text)) / ((Val(1
/ txtb7.Text)) + (Val(0.001 * txtb1.Text) / txtb3.Text) +
(Val(0.001 * txtb17.Text) / txtb20.Text) + (Val(0.001 *
txtb16.Text) / txtb19.Text) + (Val(0.001 * txtb2.Text) /
txtb4.Text) + (Val(1 / txtb8.Text))), "0.00")
        txtb11.Text = Format((Val(txtb5.Text +
((txtb10.Text) / txtb7.Text))), "0.00")
        txtb12.Text = Format((Val(txtb6.Text -
(txtb10.Text) / txtb8.Text)), "0.00")
    End If
    If cb1.Checked And cb2.Checked And cb3.Checked = True
Then
        txtb9.Text = Val(txtb6.Text) - Val(txtb5.Text)
        txtb10.Text = Format((Val(txtb9.Text)) / ((Val(1
/ txtb7.Text)) + (Val(0.001 * txtb1.Text) / txtb3.Text) +
(Val(0.001 * txtb18.Text) / txtb21.Text) + (Val(0.001 *
txtb17.Text) / txtb20.Text) + (Val(0.001 * txtb16.Text) /
txtb19.Text) + (Val(0.001 * txtb2.Text) / txtb4.Text) +
(Val(1 / txtb8.Text))), "0.00")
        txtb11.Text = Format((Val(txtb5.Text +
((txtb10.Text) / txtb7.Text))), "0.00")
        txtb12.Text = Format((Val(txtb6.Text -
(txtb10.Text) / txtb8.Text)), "0.00")
    End If
End Sub

Private Sub Button2_Click_2(ByVal sender As Sys-
tem.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles But-
ton2.Click
    txtb15.Text = Format((Val(txtb7.Text * txtb14.Text *
(txtb11.Text - txtb5.Text)) + (txtb13.Text * txtb14.Text *
0.0000000567 * (((txtb11.Text + 273.15) ^ 4) - ((txtb5.Text +
273.15) ^ 4)))), "0.00")
End Sub

Private Sub cb1_CheckedChanged_1(ByVal sender As Sys-
tem.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
cb1.CheckedChanged
    If cb1.Checked = True Then
        pb3.Visible = True
    End If
    If cb1.Checked = False Then
        pb3.Visible = False
    End If
End Sub

```

```
Private Sub cb2_CheckedChanged_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cb2.CheckedChanged
    If cb2.Checked = True Then
        pb4.Visible = True
    End If
    If cb2.Checked = False Then
        pb4.Visible = False
    End If
End Sub

Private Sub cb3_CheckedChanged_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cb3.CheckedChanged
    If cb3.Checked = True Then
        pb5.Visible = True
    End If
    If cb3.Checked = False Then
        pb5.Visible = False
    End If
End Sub
End Class
```

Bilaga 2. Bild på programmet, figur 5.

0

Chemical layer

Support layer

Isolation

Inside

Outside

Chemical layer thickness

2.5

mm

Support layer thickness

10

mm

1. ☒ Alternative isolation thickness

12

mm

2. ☐ Alternative isolation thickness

0

mm

3. ☐ Alternative isolation thickness

0

mm

Conduction heat transfer coefficient

0.2

W/m^2K

Conduction heat transfer coefficient

0.25

W/m^2K

Conduction heat transfer coefficient

23

W/m^2K

Conduction heat transfer coefficient

0

W/m^2K

Conduction heat transfer coefficient

0

W/m^2K

Temperatures

Heat transfer free convection

Inside temperature

80

Degree Celcius

Outside temperature

18

Degree Celcius

Calculate

Temperature Difference

62

Degree Celcius

Outside surface temperature

44,43

Degree Celcius

Inside surface temperature

72,45

Degree Celcius

Convection + Radiation

Emissivity

0.75

<1

External Area

22

m^2

Calculate

Heat loss

528,53

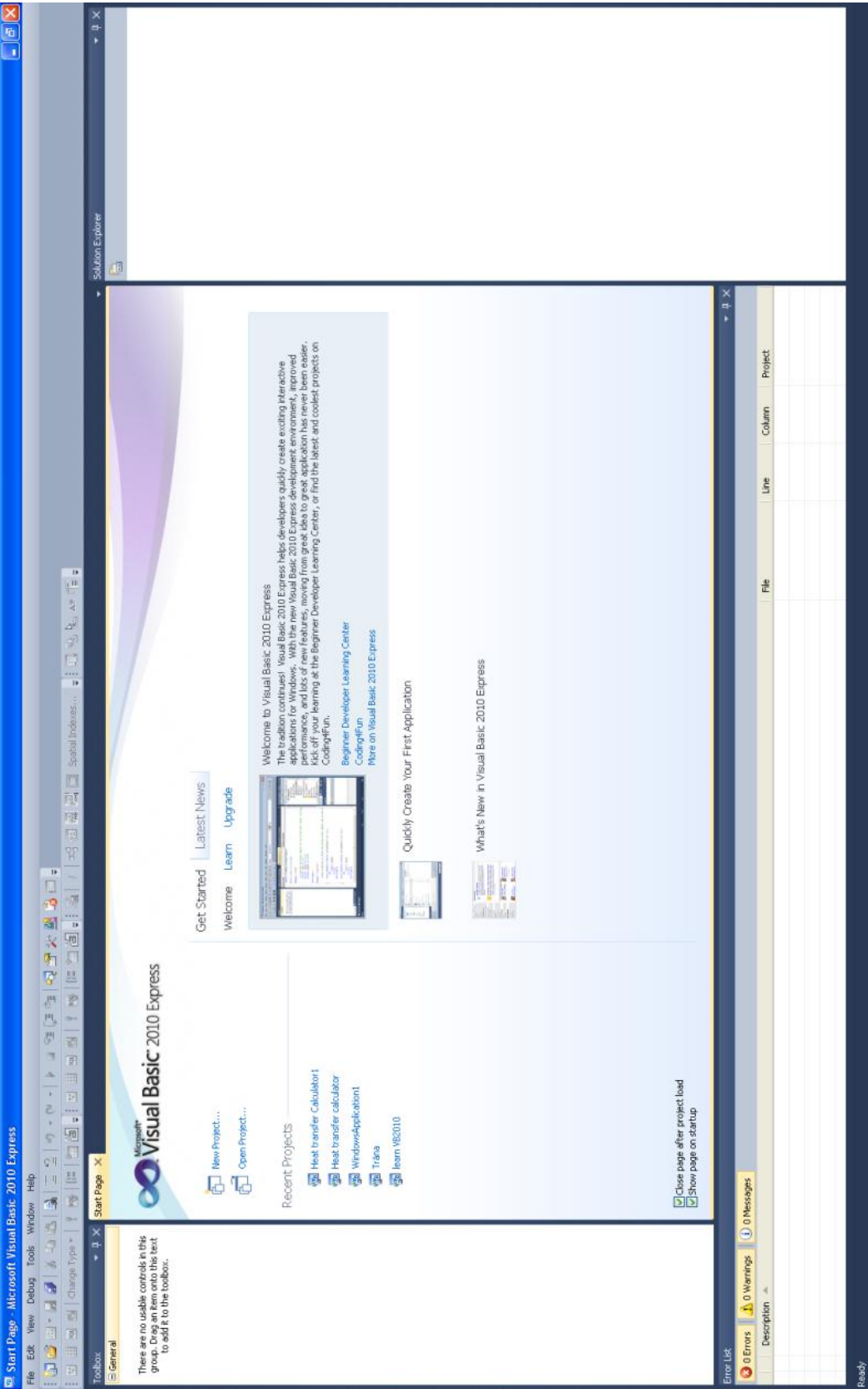
W/m^2

Total heat loss

14423,20

W

Bilaga 3. Bild på Visual Basic start layup, figur 6.



Bilaga 4. Bild på Visual Basic programmets start form, figur 8.

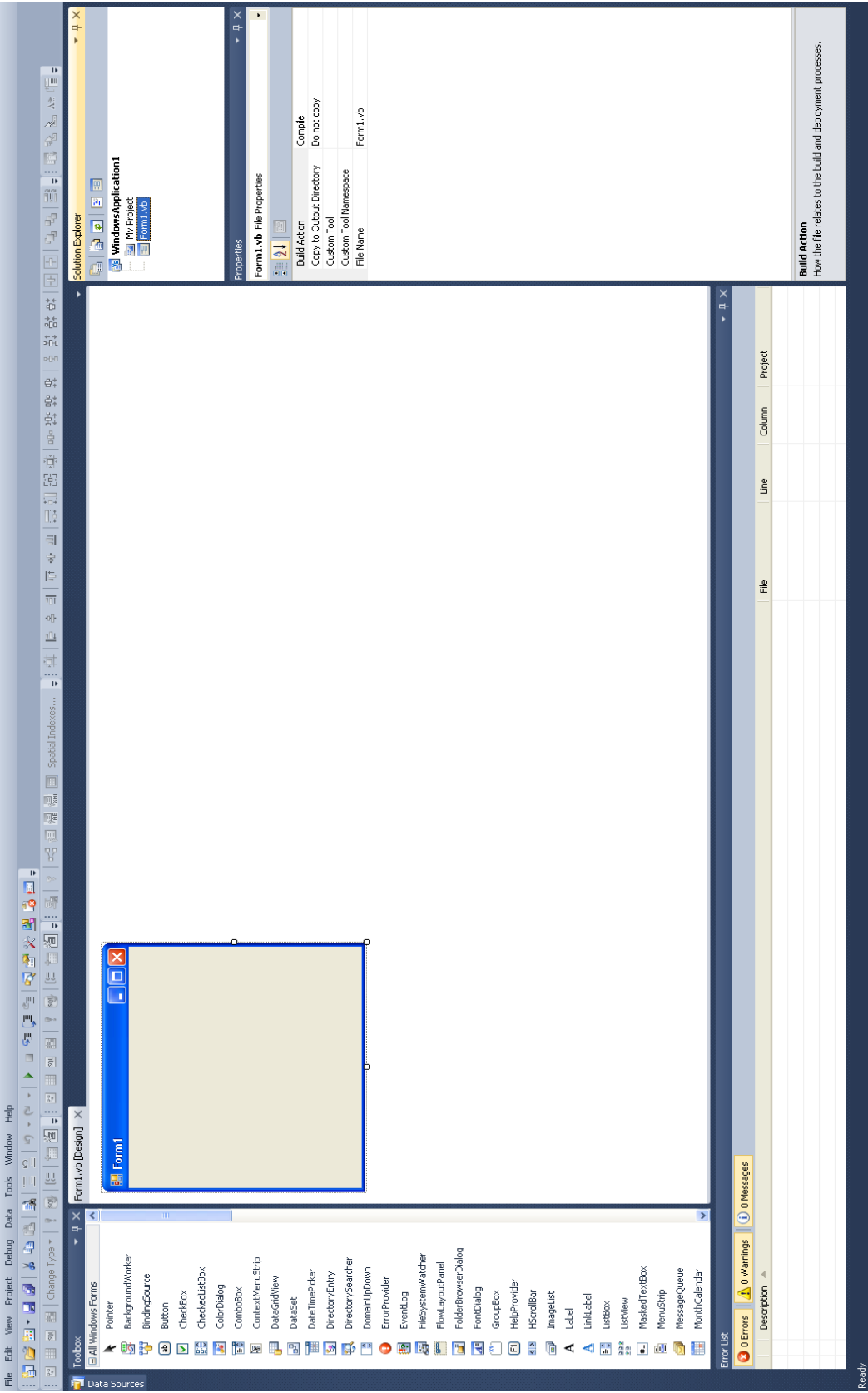



Bild på räkne programmet med textboxarnas namn i kod språk.

Tank material measurements

	Chemical layer thickness Support layer thickness	Isolation	Conduction heat transfer coefficient	W/m ² K
1. <input checked="" type="checkbox"/> Alternative isolation thickness	<input type="text" value="tatab1"/>	<input type="text" value="tatab16"/>	<input type="text" value="tatab3"/>	<input type="text" value="Wm^2K"/>
2. <input checked="" type="checkbox"/> Alternative isolation thickness	<input type="text" value="tatab2"/>	<input type="text" value="tatab17"/>	<input type="text" value="tatab4"/>	<input type="text" value="Wm^2K"/>
3. <input type="checkbox"/> Alternative isolation thickness	<input type="text" value="tatab18"/>	<input type="text" value="tatab19"/>	<input type="text" value="tatab20"/>	<input type="text" value="Wm^2K"/>
		<input type="text" value="tatab21"/>	<input type="text" value="tatab22"/>	<input type="text" value="Wm^2K"/>



Temperatures Heat transfer free convection

	Inside temperature Outside temperature	Degree Celcius	Convection heat transfer coefficient	W/m ² K
1. <input checked="" type="checkbox"/> Alternative insulation thickness	<input type="text" value="tatab6"/>	<input type="text" value="Degree Celcius"/>	<input type="text" value="tatab8"/>	<input type="text" value="Wm^2K"/>
2. <input checked="" type="checkbox"/> Alternative insulation thickness	<input type="text" value="tatab5"/>	<input type="text" value="Degree Celcius"/>	<input type="text" value="tatab7"/>	<input type="text" value="Wm^2K"/>

Calculate

Convection + Radiation

	Temperature Difference Outside surface temperature Inside surface temperature	Degree Celcius	Heat loss	W/m ²
1. <input checked="" type="checkbox"/> Alternative insulation thickness	<input type="text" value="tatab9"/>	<input type="text" value="Degree Celcius"/>	<input type="text" value="tatab10"/>	<input type="text" value="Wm^2"/>
2. <input checked="" type="checkbox"/> Alternative insulation thickness	<input type="text" value="tatab11"/>	<input type="text" value="Degree Celcius"/>	<input type="text" value="tatab12"/>	<input type="text" value="Wm^2"/>

Emissivity

< 1

External Area

m²

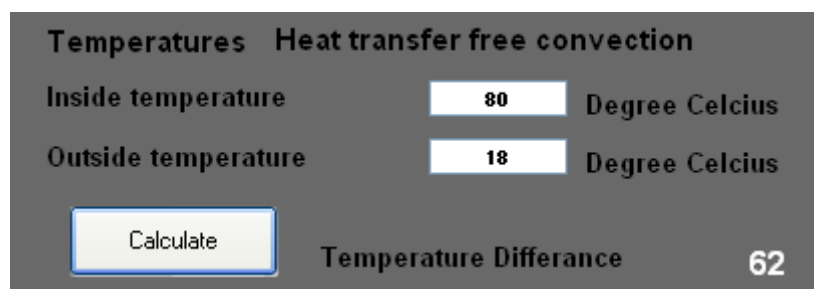
Calculate

Total heat loss W

Bilaga 6. Detaljerad förklaring på koden

Button1 är Calculate knappen som ni kan se i figur5. Txtb9 är en textbox som kan visa ett värde, tal, eller räkna något beroende på vad man programmerar textboxen att göra. Txtb9 har jag programmerat att visa insidans temperatur minus utsidans temperatur. Txtb9 i koden står för en textbox som visar temperaturdifferensen 62. Txtb6 är en textboxen där man fyller i temperaturen på mediet som finns inuti tanken. Txtb5 är en textbox där man fyller i temperaturen på tankens omgivning. I koden kan ni se att värdet man fyller in i txtb6 räknas minus det värde som fylls in i txtb5 och resultatet visas i txtb9. I figuren nedan kan ni se att exempel värden finns redan i textboxarna. Txtb5=18 Tankens omgivnings temperatur. Txtb6=80 Temperaturen på tankens innehåll Txtb9=62 Temperatur differensen mellan txtb5 och txtb6.

```
Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles Button1.Click
    txtb9.Text = (Val(txtb6.Text) - Val(txtb5.Text))
```



Temperatures Heat transfer free convection	
Inside temperature	80 Degree Celcius
Outside temperature	18 Degree Celcius
Calculate	Temperature Difference 62

Här nedan kan ses att txtb10 visar resultatet på txtb9 dividerat med resultatet på 1 dividerat med värdet som finns i txtb7 plus resultatet av 0,001 gånger det i fyllda värdet i txtb1. Dividerat med värdet av i txtb3 plus värdet av 0,001 gånger det ifyllda värdet i txtb2 dividerat med värdet som fylls in i txtb4. Plus resultatet av 1 dividerat med det ifyllda värdet i txtb8.

```
txtb10.Text = Format((Val(txtb9.Text)) / ((Val(1 / txtb7.Text)) + (Val(0.001 * txtb1.Text) / txtb3.Text) + (Val(0.001 * txtb2.Text) / txtb4.Text) + (Val(1 / txtb8.Text)))), "0.00")
```

För att få ett resultat med två decimaler på de beräkningar programmet gör, fyller man ut koden ytterligare med "0,00". Här nedan kan ses samma ekvation i uppställd form:

$$\frac{txtb9}{\frac{1}{txtb7} + \frac{(0,001 * txtb1)}{txtb3} + \frac{(0,001 * txtb2)}{txtb4} + \frac{1}{txtb8}}$$

Denna formel räknar ut den totala värmeenergin som transporteras från den ena sidan till den andra. I figur6 kan ses värden i de olika textboxarna. I koden ovan kan ni se till exempel 0,001 gånger txtb2 denna räkning finns där endast för att tillåta programmets användare att fylla i värmets transportsträcka i millimeter.

Txtb10= 640,59 detta är resultatet på hur mycket värmeenergi som transporteras från tanken(W/m²).

Txtb9= 62 är den totala temperatur differensen på vätskan och tankens omgivning(°C).

Txtb7= 20 är värmeöverföringskoefficienten mellan tankens utsida till dess omgivning(W/m²*K).

Txtb1= 2,5 är längden(tjockleken) på spärrskiktet(mm).

Txtb3= 0,2 är spärrskiktets värmelednings koefficient(W/m*K).

Txtb2= 5 är längden(tjockleken) på stödsiktet(mm).

Txtb4= 0,25 är stödsiktets värmelednings koefficient (W/m*K).

Txtb8= 70 är värmeöverföringskoefficienten från tankens insida till vätskan inuti tanken (W/m²*K).

Temperatures Heat transfer free convection			
Inside temperature	<input type="text" value="80"/>	Degree Celcius	Convection heat transfer coefficient <input type="text" value="70"/> W/m^2*K
Outside temperature	<input type="text" value="18"/>	Degree Celcius	Convection heat transfer coefficient <input type="text" value="20"/> W/m^2*K
<input type="button" value="Calculate"/>			
Temperature Difference	62	Degree Celcius	
Outside surface temperature	50,03	Degree Celcius	Heat loss 640,59 W/m^2
Inside surface temperature	70,85	Degree Celcius	

Tank material measurements			
Chemical layer thickness	<input type="text" value="2,5"/>	mm	Conduction heat transfer coefficient <input type="text" value="0,2"/> W/m*K
Support layer thickness	<input type="text" value="5"/>	mm	Conduction heat transfer coefficient <input type="text" value="0,25"/> W/m*K

När man går vidare i koden kan vi se att txtb11 är resultatet på txtb5 plus txtb10 dividerat med värdet i txtb7. Denna formel ger utsidans yttemperatur. Här också finns ”0,00” med i koden för att få resultatet i två decimaler.

```
txtb11.Text = Format((Val(txtb5.Text + ((txtb10.Text) / txtb7.Text))),  
"0.00")
```

$$txtb11 = \frac{(txtb5 + txtb10)}{txtb7}$$

Som det tidigare i texten stod är txtb5 omgivningens temperatur 18 °C. Txtb10 är den totala värmeförlusten per kvadratmeter 640,59 W/m². Txtb7 är den som tidigare värmeöverföringskoefficienten mellan tankens utsida och dess omgivning. Resultatet på denna formel finns i txtb11 som då är ytemperaturen på tankens utsida 50,03 grader Celsius.

```
txtb12.Text = Format((Val(txtb6.Text - (txtb10.Text) / txtb8.Text)),  
"0.00")
```

$$txtb12 = \frac{(txtb6 - txtb10)}{txtb8}$$

Denna kod är likadan som den tidigare förutom att denna gång beräknas allt på tankens insida. Här räknas minus i stället för plus på utsidan. Minus använder man för att värmeth transporteras från varm till kallare, från insidan till utsidan, vilket betyder att temperaturen skall sjunka och därför används minus. Txtb6 är temperaturen på tankens innehåll 80 grader Celsius. Txtb10 samma som tidigare, den totala värme energin som transporteras från tanken 640,59 W/m². Txtb8 är här värmeöverföringskoefficienten från tankens insida till vätskan, resultatet som visas i txtb12 är då ytemperaturen på tankens insida. I programmet finns två stycken calculate knappar som går att trycka på. Den först calculate knappen heter i koden "Button1" den andra calculate knappen heter "Button2". Två knappar har lagts in för att man behöver resultat från den första beräkningen för att det skall vara möjligt att få ut den totala värme energiförlusten från tanken, som man får ut med den andra beräkningen.

Här nedan kan ses i koden att när man klickar på calculate "Button2" utför programmet en beräkning som ger den totala värme energi förlusten från tanken. Txtb15 likamed txtb7 gånger txtb14 gånger txtb11 minus txtb5 plus txtb13 gånger txtb14 gånger 0,0000000567 gånger txtb11 plus 273,15 upphöjt till 4 minus txtb5 plus 273,15 upphöjt till 4. Här igen kan ses "0,00" för att få resultatet i två decimaler.

```

Private Sub Button2_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles Button2.Click
    txtb15.Text = Format(Val(txtb7.Text * txtb14.Text * (txtb11.Text - txtb5.Text)) + (txtb13.Text * txtb14.Text * 0.0000000567 * (((txtb11.Text + 273.15) ^ 4) - ((txtb5.Text + 273.15) ^ 4))), "0.00")
End Sub

```

I txtb15 visas den totala värmeförlusten för tanken. När man räknar värmeöverföring i form av strålning så måste man omvandla temperaturerna till kelvin. Det gör man genom att räkna den givna temperaturen i Celsius plus 273,15. I koden ovan kan ni se att programmet är programmerat att räkna txtb11 och txtb5 plus 273,15 denna addition finns där endast för att underlätta användandet av programmet. Här nedan kan ses uträkning i uppställd form:

$$\begin{aligned}
 &txtb15 = \\
 &txtb7 * txtb14 * txtb11 - txtb5 + (txtb13 * txtb14 * 0,0000000567 * \\
 &((txtb11 + 273,15)^4 - (txtb5 + 273,15)^4)
 \end{aligned}$$

Alltid när man har värmeförlust genom strålning har man också förlust genom konvektion. Här i ekvationen kan ni se att första delen av uträkning är värmeförlusten genom konvektion plus den andra delen som är värmeförlusten genom strålning.

$$txtb7 * txtb14 * (txtb11 - txtb5)$$

Här ovan kan ni se konvektionsdelen av ekvationen och på undre sidan strålningsdelen.

$$(txtb13 * txtb14 * 0,0000000567 * ((txtb11 + 273,15)^4 - (txtb5 + 273,15)^4)$$

Här ser ni igen att man räknar om temperaturen från Celsius till kelvin.

Tilläggs isolering

Denna del av koden är med för att utöka programmets möjlighet att isolera tanken.

Cb1 är den första boxen man kan aktivera med ett klick. I koden nedan står det ”If cb1.Checked = true then” detta betyder att ifall checkbox ett är i aktiverad kommer programmet att räkna enligt den kod som finns nedan. Det som skiljer denna kod från den tidigare där programmet räknade ut förlusten genom spärrskicktet och stödskicktet. Är att programmet plusar till en tjocklek och en värme lednings konstant på tjockleken. Denna tjocklek och konstant kan användaren själv välja, vilket då kan vara till exempel en isolering av ull runt tanken.

1.	<input type="checkbox"/>	Alternative isolation thickness	<input type="text" value="5"/>	mm	Conduction heat transfer coefficient	<input type="text" value="0.25"/>	W/m²K
2.	<input type="checkbox"/>	Alternative isolation thickness	<input type="text" value="5"/>	mm	Conduction heat transfer coefficient	<input type="text" value="0.25"/>	W/m²K
3.	<input type="checkbox"/>	Alternative isolation thickness	<input type="text" value="5"/>	mm	Conduction heat transfer coefficient	<input type="text" value="0.25"/>	W/m²K

```
If cb1.Checked = True Then
    txtb9.Text = (Val(txtb6.Text) - Val(txtb5.Text))
    txtb10.Text = Format((Val(txtb9.Text)) / ((Val(1 / txtb7.Text)) +
(Val(0.001 * txtb1.Text) / txtb3.Text) + (Val(0.001 * txtb16.Text) / txtb19.Text)
+ (Val(0.001 * txtb2.Text) / txtb4.Text) + (Val(1 / txtb8.Text))), "0.00")
    txtb11.Text = Format((Val(txtb5.Text + ((txtb10.Text) /
txtb7.Text))), "0.00")
    txtb12.Text = Format((Val(txtb6.Text - (txtb10.Text) / txtb8.Text)),
"0.00")
End If
```

Koden ovan är koden för den första isoleringen. Här under kan ses koden för den andra isoleringen. Den fungerar igen på samma vis som den första koden för isolering.

Bara att här kan man också välja ett eget material samt tjocklek.

```
If cb2.Checked = True Then
    txtb9.Text = Val(txtb6.Text) - Val(txtb5.Text)
    txtb10.Text = Format((Val(txtb9.Text)) / ((Val(1 / txtb7.Text)) +
(Val(0.001 * txtb1.Text) / txtb3.Text) + (Val(0.001 * txtb17.Text) / txtb20.Text)
+ (Val(0.001 * txtb2.Text) / txtb4.Text) + (Val(1 / txtb8.Text))), "0.00")
    txtb11.Text = Format((Val(txtb5.Text + ((txtb10.Text) /
txtb7.Text))), "0.00")
    txtb12.Text = Format((Val(txtb6.Text - (txtb10.Text) / txtb8.Text)),
"0.00")
End If
```


Här under kan ses den tredje koden för isolering. De här tre kod grupperna ger programmets användare möjlighet att isolera tanken med tre olika material med olika värmelednings konstanter.

```
If cb3.Checked = True Then
    txtb9.Text = Val(txtb6.Text) - Val(txtb5.Text)
    txtb10.Text = Format((Val(txtb9.Text)) / ((Val(1 / txtb7.Text)) +
(Val(0.001 * txtb1.Text) / txtb3.Text) + (Val(0.001 * txtb18.Text) / txtb21.Text)
+ (Val(0.001 * txtb2.Text) / txtb4.Text) + (Val(1 / txtb8.Text))), "0.00")
    txtb11.Text = Format((Val(txtb5.Text + ((txtb10.Text) /
txtb7.Text))), "0.00")
    txtb12.Text = Format((Val(txtb6.Text - (txtb10.Text) / txtb8.Text)),
"0.00")
End If
```

När en glasfiber tank blir isolerad kan man isolera den på olika sätt och med olika material. Ett exempel på isolering kunde vara ett lager med ull och utanför ullen ett lager med plåt. På grund av detta behöver det vara möjligt att räkna värmeförlusten med flera olika material på samma gång. Koden som ni ser nedan är koden som gör det möjligt att ha flera lager isolering aktiverad på samma gång.

```
If cb1.Checked And cb2.Checked = True Then
    txtb9.Text = Val(txtb6.Text) - Val(txtb5.Text)
    txtb10.Text = Format((Val(txtb9.Text)) / ((Val(1 / txtb7.Text)) +
(Val(0.001 * txtb1.Text) / txtb3.Text) + (Val(0.001 * txtb17.Text) / txtb20.Text)
+ (Val(0.001 * txtb16.Text) / txtb19.Text) + (Val(0.001 * txtb2.Text) /
txtb4.Text) + (Val(1 / txtb8.Text))), "0.00")
    txtb11.Text = Format((Val(txtb5.Text + ((txtb10.Text) /
txtb7.Text))), "0.00")
    txtb12.Text = Format((Val(txtb6.Text - (txtb10.Text) / txtb8.Text)),
"0.00")
End If
If cb1.Checked And cb2.Checked And cb3.Checked = True Then
    txtb9.Text = Val(txtb6.Text) - Val(txtb5.Text)
    txtb10.Text = Format((Val(txtb9.Text)) / ((Val(1 / txtb7.Text)) +
(Val(0.001 * txtb1.Text) / txtb3.Text) + (Val(0.001 * txtb18.Text) / txtb21.Text)
+ (Val(0.001 * txtb17.Text) / txtb20.Text) + (Val(0.001 * txtb16.Text) /
txtb19.Text) + (Val(0.001 * txtb2.Text) / txtb4.Text) + (Val(1 / txtb8.Text))),
"0.00")
    txtb11.Text = Format((Val(txtb5.Text + ((txtb10.Text) /
txtb7.Text))), "0.00")
    txtb12.Text = Format((Val(txtb6.Text - (txtb10.Text) / txtb8.Text)),
"0.00")
End If
End Sub
```

I koden ovan kan ni se att om cb1 och cb2 är aktiverade räknar programmet med båda tjocklekarna, plus det vanliga spärrskiktet och stödsiktet. Senare i koden ser ni att det står om cb1 och cb2 och cb3 är aktiverade kommer programmet att räkna med alla tre

tilläggs isoleringar. Koden under är där för bilderna som blir synliga när man aktiverar de olika isolerings skikten. Ni kan se i koden att ifall cb1 är aktiverad är pb3 synlig (If cb1 checked = true then pb3 visible = true) cb1 är som tidigare nämnt checkbox nummer 1 och pb3 står för picture box 3 vilket betyder bild ruta tre.

```
Private Sub cb1_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cb1.CheckedChanged
    If cb1.Checked = True Then
        pb3.Visible = True
    End If
    If cb1.Checked = False Then
        pb3.Visible = False
    End If
End Sub
```

Den senare delen i den koden ovan som lyder cb1.checked = false betyder att ifall cb1 inte är aktiverad är inte pb1 synlig.

Här under till kan ses koden för det andra isolerings materialets visnings bild.

```
Private Sub cb2_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cb2.CheckedChanged
    If cb2.Checked = True Then
        pb4.Visible = True
    End If
    If cb2.Checked = False Then
        pb4.Visible = False
    End If
End Sub
```

Här under kan ni se den slutliga delen av koden som är för den tredje isoleringens visnings bild vid aktivering.

```
Private Sub cb3_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cb3.CheckedChanged
    If cb3.Checked = True Then
        pb5.Visible = True
    End If
    If cb3.Checked = False Then
        pb5.Visible = False
    End If
End Sub
End Class
```

Denna kod är nu hela koden som programmerats i visual basic express programmet för att få räknaren att fungera. Nedan finns en figur där textboxar är döpta till de namn de har i koden.

Calculator

Tank material measurements

Chemical layer thickness

txtb1

mm

Support layer thickness

txtb2

mm

1. ☒ Alternative isolation thickness

txtb16

mm

2. ☒ Alternative isolation thickness

txtb17

mm

3. ☐ Alternative isolation thickness

txtb18

mm

Conduction heat transfer coefficient

txtb3

W/m²K

Conduction heat transfer coefficient

txtb4

W/m²K

Conduction heat transfer coefficient

txtb19

W/m²K

Conduction heat transfer coefficient

txtb20

W/m²K

Conduction heat transfer coefficient

txtb21

W/m²K

Temperatures

Heat transfer free convection

Inside temperature

txtb6

Degree Celcius

Outside temperature

txtb5

Degree Celcius

Convection heat transfer coefficient

txtb8

W/m²²K

Convection heat transfer coefficient

txtb7

W/m²²K

Calculate

Temperature Difference

txtb9

Degree Celcius

Outside surface temperature

txtb11

Degree Celcius

Inside surface temperature

txtb12

Degree Celcius

Heat loss

txtb10

W/m²

Convection + Radiation

Emissivity

txtb13

<1

External Area

txtb14

m²

Calculate

Total heat loss

txtb15

W

Chemical layer

Support layer

Isolation

Outside

Inside